

CONTROLE PRECISO DE PATAS DURANTE A LOCOMOÇÃO DE ROBÔ QUADRÚPEDE

Maria Luiza Leal Fontana, Aureo Guilherme Dobrikopf, Douglas Wildgrube Bertol.

INTRODUÇÃO

A locomoção autônoma de robôs quadrúpedes representa um desafio relevante na robótica móvel, especialmente em ambientes irregulares onde a estabilidade e precisão são cruciais. Para que o controle dos movimentos seja eficaz, é fundamental que o robô tenha uma estimativa confiável de sua posição ao longo do tempo. Diante disso, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma estratégia de controle voltada à locomoção precisa do robô quadrúpede Go2, inicialmente por meio da estimação de pose com sensores inerciais utilizando o Filtro de Kalman Estendido (EKF), e, posteriormente, pela aplicação de técnicas baseadas em controle preditivo (MPC) e *Reference Governor Control* (RGC), buscando maior estabilidade.

DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento deste projeto, foi utilizado o ambiente de simulação ROS2 (*Robot Operating System 2*), uma plataforma modular e amplamente adotada na área de robótica, que permite a integração de sensores, atuadores e algoritmos de controle. Inicialmente, foi configurado um ambiente simulado para o robô quadrúpede Go2 com o uso das ferramentas Gazebo, RViz e PlotJuggler. Essas ferramentas permitiram simular o sensor inercial (IMU), visualizar os dados publicados em tempo real e realizar a análise temporal dos sinais gerados.

A primeira abordagem escolhida para a estimação de posição foi o uso do Filtro de Kalman Estendido (EKF). O EKF é uma técnica de filtragem não linear que permite a fusão de dados sensoriais com um modelo preditivo do sistema, corrigindo os estados estimados a cada nova medição. Essa técnica é especialmente útil quando se trabalha com sensores sujeitos a ruídos e incertezas, como é o caso da IMU. O sensor inercial fornece acelerações e velocidades angulares nos três eixos, e, para estimar a posição, seria necessário integrar duas vezes os sinais de aceleração. Contudo, essa integração dupla tende a acumular erros com o tempo devido ao ruído e bias do sensor, levando ao fenômeno conhecido como *drift*.

Com o objetivo de mitigar esse problema, o EKF foi implementado para realizar a fusão sensorial dos dados da IMU com modelos de movimento. Paralelamente, também foi tentada a criação de um pacote próprio, que integrava os sinais de forma linear e trapezoidal para estimar a posição. A ideia era comparar os métodos e buscar um comportamento mais estável.

Diante das limitações observadas nas abordagens baseadas unicamente na IMU, a pesquisa passou a explorar uma nova direção: a implementação de um controlador baseado em MPC (*Model Predictive Control*). Essa técnica prevê o comportamento futuro do sistema e aplica comandos otimizados respeitando restrições físicas e operacionais. O controlador está sendo estruturado no formato RGC (*Reference Governor Control*), que ajusta dinamicamente as referências para garantir a viabilidade do movimento. O desenvolvimento dessa nova etapa encontra-se em andamento.

RESULTADOS

Até o presente momento, os testes realizados com a estratégia de estimação baseada exclusivamente na IMU, mesmo com a aplicação do EKF, não foram capazes de fornecer uma estimativa de posição confiável. Foram observadas instabilidades significativas nos dados de saída, principalmente devido à ausência de fontes externas de correção. Nesse sentido, segundo

Martins-Filho e Prajoux (1999), a principal dificuldade em odometria para robôs com pernas está na detecção precisa dos momentos de contato e no cálculo das forças resultantes de apoio. As patas, ao alternarem entre fases de apoio e balanço, criam um sistema dinâmico altamente variável que desafia a integração direta de velocidades e posições articulares. Além disso, o deslizamento das patas no solo e a deformação do terreno adicionam fontes de erro que não estão presentes em robôs com rodas. A configuração inadequada das covariâncias no início da simulação também contribuiu para saltos bruscos no tópico criado para a odometria, o que comprometeu a viabilidade da abordagem inicial.

A tentativa de utilizar um pacote personalizado para realizar a integração dos dados — tanto de forma linear quanto trapezoidal — também não resultou em melhorias consideráveis. A posição estimada continuava apresentando crescimento indefinido ao longo do tempo, evidenciando o impacto da deriva acumulada.

Dessa forma, a pesquisa está sendo redirecionada para o desenvolvimento de um novo método de controle e estimação, utilizando o controle preditivo baseado em MPC. Com essa abordagem, espera-se garantir maior robustez ao sistema e superar os limites impostos pelas estratégias baseadas apenas na IMU.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto evoluiu de uma abordagem baseada exclusivamente em sensores inerciais para uma arquitetura mais robusta e fundamentada na modelagem preditiva. As dificuldades enfrentadas com o EKF revelaram as limitações práticas da estimação de posição sem múltiplas fontes sensoriais. A partir disso, foi possível redefinir os objetivos e alinhar o projeto às estratégias mais modernas de controle preditivo, buscando garantir estabilidade mesmo diante de perturbações e incertezas do ambiente.

Os próximos passos incluem a finalização do controlador RGC, testes em simulação e posterior validação com o robô físico Go2. A pesquisa contribui para o avanço do controle de robôs quadrúpedes autônomos, com potencial aplicação em ambientes complexos e missões de exploração onde a estabilidade é crítica.

Palavras-chave: robótica quadrúpede; controle; ROS2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARTINS-FILHO, L. de S.; PRAJOUX, R. Controle de locomoção de um robô quadrúpede utilizando linearização exata entrada-saída. **Revista Controle & Automação**, v. 10, n. 3, p. 155–172, 1999. Disponível em: <<https://www.sba.org.br/revista/vol10/V10A224.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2025.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Maria Luiza Leal Fontana

MODALIDADE DE BOLSA: PROBIC/UDESC (IC)

VIGÊNCIA: 01/09/2024 a 31/08/2025 – Total: 12 meses

ORIENTADOR(A): Douglas Wildgrube Bertol

CENTRO DE ENSINO: CCT

DEPARTAMENTO: Departamento de lotação do orientador(a)

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharias/ Engenharia Elétrica

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Controle preciso de patas durante a locomoção de robô quadrúpede

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP4271